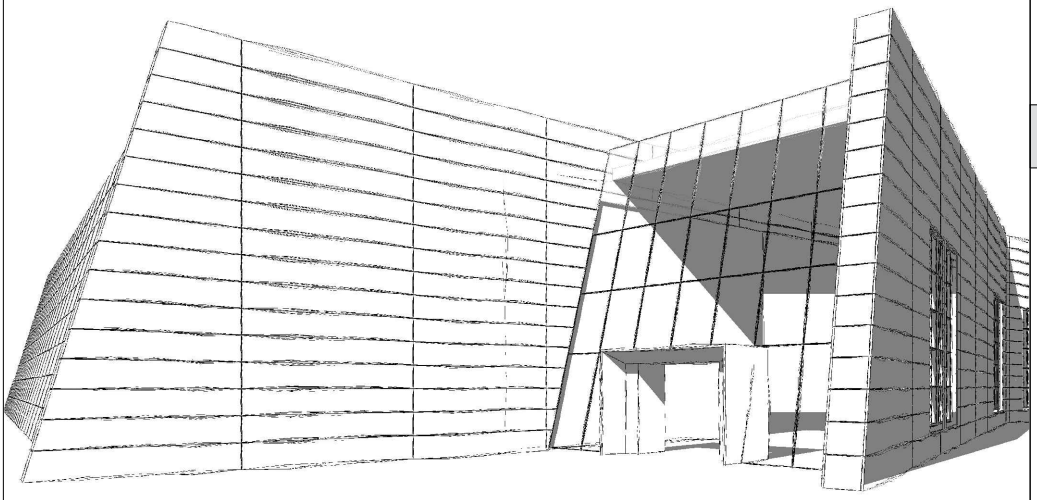
COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)



VERIFICA DI OTTEMPERANZA

OGGETTO

"Ottemperanza alle prescrizioni 1-10 del Decreto MASE VIA 0000592 del 06-10-2025 ai sensi dell'art. 28 del D.Lgs, 152/2006

Progetto del Polo Tecnologico Aruba Spa costituito da DataCenter che prevede l'installazione di gruppi elettrogeni di emergenza, alimentati a gasolio (potenza termica nominale totale pari a 297,375 MWt)".

3 - SUOLO

3B

TITOLO

RELAZIONE TECNICA STRUTTURALE

SCALA:	DATA:
-	18/02/2026

ENTE PREPOSTO

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

SOGGETTI COINVOLTI

Proponente

Aruba S.p.a.
Via S.Clemente n. 53
24036 Ponte S. Pietro (BG)

Progettisti

Alvea S.r.l.
Via Elia Lombardini 13
20143 Milano

INGEGNERIA E SERVIZI

STUDIO TECNICO D'INGEGNERIA

Via Memorabile 2 MAGIONE (PG) Cell. 335446570
e-mail ingmarcopoggioni@libero.it
e-mail certificata marco.poggioni@ingpec.eu

Dott. Ing. Marco Poggioni
Dott. Ing. Domenico Cavagnuolo
Dott. Ing. Tommaso Lopilato

PROGETTO:

Adeguamento sismico di un edificio prefabbricato sito in Via San Clemente 53, sito nel Comune di Ponte San Pietro (BG).
(Punto 8.4.3. NTC 2018)

COMMITTENTE:

Spett.le
ARUBA S.P.A.

Il presente fascicolo si compone di:

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

PROGETTATA CON DM 17-01-18
ZONA SISMICA, 3 (VITA NOMINALE 100 ANNI-CLASSE D'USO IV)
(Latitudine =45°,7042'' N Longitudine=9°,5911'' E)

IL PROGETTISTA DELLE STRUTTURE **IL DIRETTORE DEI LAVORI.**

Poggioni
Marco
Ordine degli
Ingegneri della
Provincia di
Perugia
Ingegnere
18.02.2026
16:36:33
GMT+01:00

Ponte San Pietro (BG), Li' 30/09/2025

Cavagnuolo
Domenico
Ordine degli
Ingegneri della
Provincia di
Perugia
Ingegnere
18.02.2026
16:37:12
GMT+01:00

Tommaso
Lopilato
Ordine degli
Ingegneri della
Provincia di
Perugia
Ingegnere
18.02.2026
16:46:38
GMT+01:00

RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA

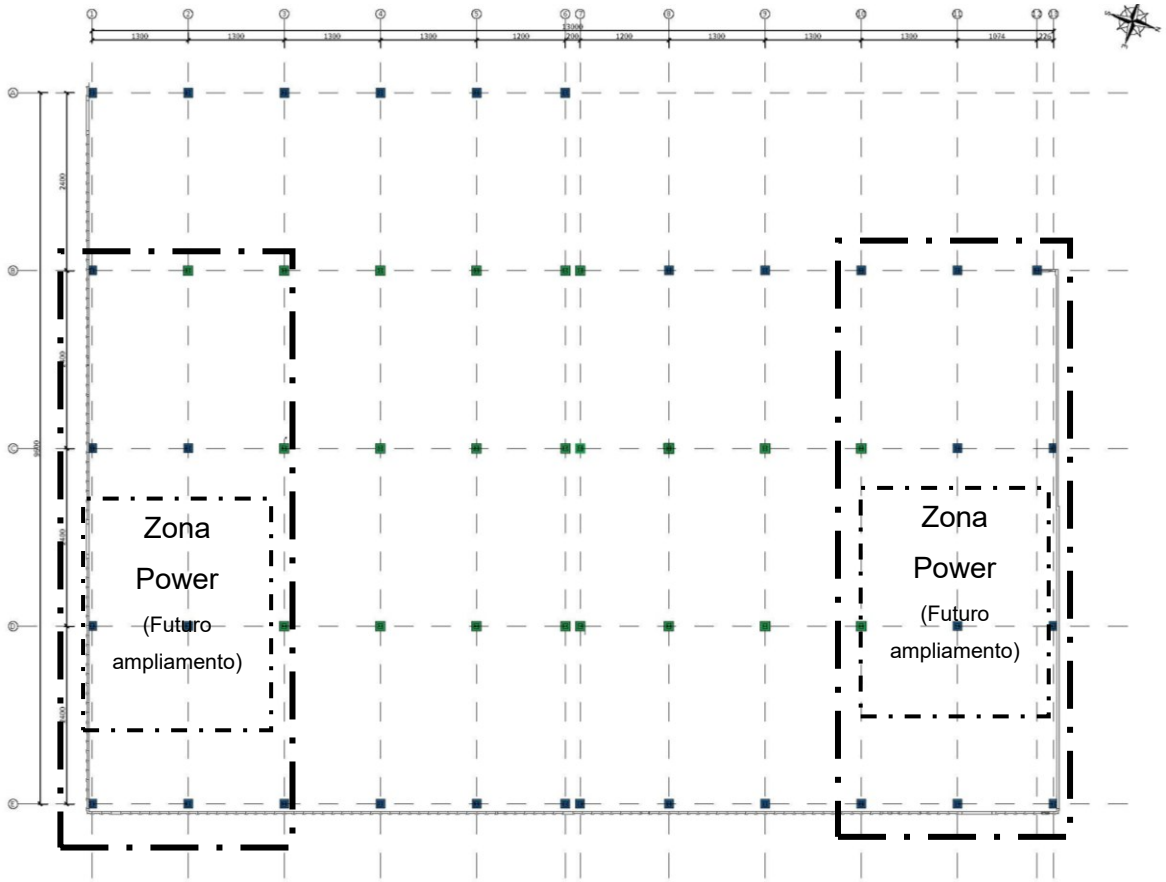
DESCRIZIONE DELL'OPERA

Oggetto della presente relazione è l'adeguamento sismico di un edificio prefabbricato sito in Via San Clemente 53, nel Comune di Ponte San Pietro (BG).
Committente dell'opera è ARUBA S.P.A.
Il sito in cui verrà eseguito l'intervento proposto risulta sismico di categoria 3 ai sensi della vigente classificazione del Territorio Nazionale.
Le strutture sono del tipo prefabbricate in calcestruzzo armato vibrato e precompresso.
L'adeguamento sismico oggetto del presente progetto non coinvolge tutti gli edifici presenti nell'area ma solamente quello denominato "EDIFICIO EX MARINE"

Le opere previste per l'intervento di adeguamento consistono principalmente in:

- Ringrosso dei pilastri esistenti con incremento della sezione da 60x60 cm a 130x130 cm (Rinforzo di tipo 1) e a 120x120 cm (Rinforzo di tipo 2);
- Inserimento di capriate in acciaio secondarie della lunghezza di 24 m e di capriate principali in acciaio di lunghezza pari a 12 m e 13 m aventi funzione di sostegno delle capriate secondarie. L'adozione di tali strutture reticolari all'interno dell'edificio, e per la precisione la realizzazione di una capriata secondaria (da 24 m) tra una trave a doppia pendenza e l'altra, ha consentito di ridurre la luce delle lastre di copertura (passando da una luce appoggio-appoggio di 6.50 m a una luce di 3.25 m).
- Realizzazione di mensole in c.a. (h = 80 cm) poste in sommità ai pilastri ringrossati sulle quali scaricano le capriate principali (mensole M1 e mensole M2).
- Adeguamento delle fondazioni a seguito dell'incremento dei carichi; è stato previsto un intervento mirato mediante la realizzazione di nuovi plinti di varie dimensioni e altezza pari a 70 cm. Alcuni di essi sono stati realizzati in appoggio al di sopra del pavimento industriale esistente avente la funzione di magrone in quanto dotato di armatura mentre altri plinti sono stati realizzati al di sotto di tale pavimentazione a quota – 0.10 m q.p.f. esistente (estradosso plinto). Si vedano tavole allegate alla presente.

Inoltre, ai lati dell'edificio e più precisamente fili B1 – E3 ed B10 – E 13, verrà realizzata una platea di 70 cm (posta a quota +0.70 m q.p.f. (estradosso platea), per un futuro ampliamento (c.d. Zona power).



La struttura ricade in zona sismica 3 ai sensi della vigente classificazione del Territorio Nazionale.
Costruzioni di tipo 3 (costruzioni con livelli di prestazioni elevati) con vita nominale Vn=100 anni.
Costruzioni in classe d'uso IV (Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti) con riferimento alle conseguenze di una possibile interruzione di operatività *e/o di un eventuale collasso sotto sisma Cu=2.0.*
La classificazione dell'edificio in classe d'uso IV è stata richiesta dal committente.
Categoria sottosuolo tipo B
Categoria topografica T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°.
Coordinate geografiche (WGS84):

LATITUDINE	45.7042
LONGITUDINE	9.5911

Tutte le strutture saranno realizzate nel COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG).

Il metodo di calcolo adottato risulta agli stati limiti secondo il DM17/01/2018 "NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI"

METODO DI CALCOLO

Per la stessa si stima pertanto una vita nominale VN di 100 anni. Sulla base di queste ipotesi, e su richiesta della committenza, l'edificio è inquadrabile in una **classe d'uso IV** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti).
Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale VN per il coefficiente d'uso CU.
Il periodo di riferimento per l'opera oggetto di intervento è pari a VR = VN · CU = 100 · 2.0 = 200 anni dove il valore del coefficiente d'uso CU è definito, al variare della classe d'uso; per la classe d'uso IV il CU è pari a 2.0.

2.4.2 CLASSI D'USO

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso *III* o in Classe d'uso *IV*, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Il calcolo delle strutture, sia per il dimensionamento sia per la verifica degli spostamenti, viene eseguito considerando come sollecitazioni agenti quelle ottenute dall'analisi strutturale con le azioni sismiche individuate dagli spettri di progetto ottenuti da quelli elastici (§ 3.2.3).
Nella modellazione 3D della struttura, in cui l'analisi è effettuata con il metodo dell'analisi dinamica modale associandola agli spettri di risposta di progetto, si è considerata la rigidezza degli elementi riferita a condizioni fessurate. Quindi la rigidezza flessionale dei pilastri in cemento armato è stata assunta pari al 75% della rigidezza dei corrispondenti elementi non fessurati (paragrafo 7.2.6).
I modi di vibrare sono stati considerati con massa partecipante significativa, cioè un numero di modi la cui massa partecipante totale sia superiore all'85% (§7.3.3.1).

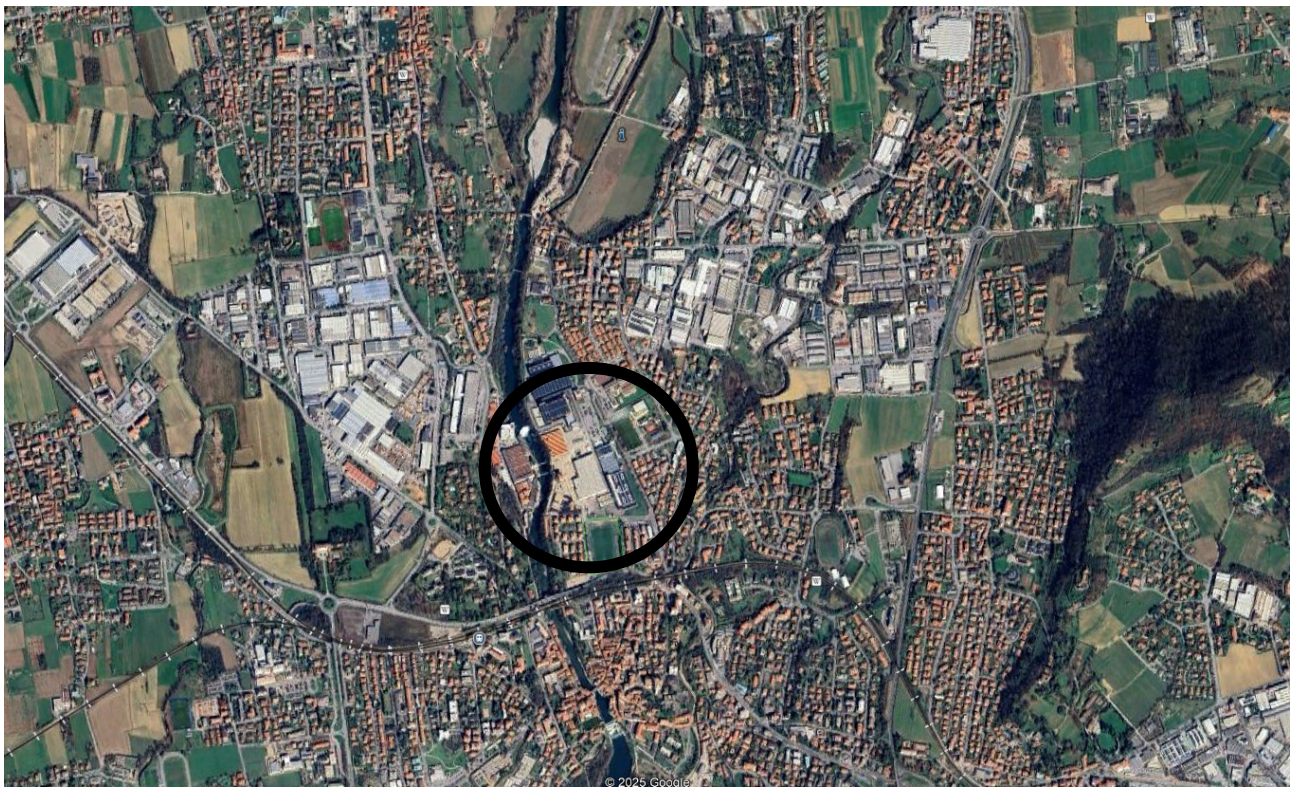
Il carico orizzontale vento agente sull'edificio è conforme al paragrafo 3.3.
Il carico verticale neve agente sull'edificio è conforme al paragrafo 3.4.

Il fattore di comportamento adottato per il modello di calcolo è q=1.5 (essendo una struttura prefabbricata in c.a. con pilastri incastrati e orizzontamenti incernierati → NON DISSIPATIVA).

LA STRUTTURA NON RISULTA TORSIONALMENTE DEFORMABILE ESSENDO r^2/ls^2>1.00.

CARATTERISTICHE SISMICHE

ZONA SISMICA 3
(VITA NOMINALE 100 ANNI - CLASSE D'USO IV
TERRENO TIPO B - CATEGORIA TOPOGRAFICA T1)
(coord. WGS84 Latitudine =45°,7042 Longitudine=9°,5911)



NORMATIVA DI RIFERIMENTO

D.M. Infrastrutture del 17-01-2018, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni
Circ. 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP., *Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018*
Legge 5 novembre 1971 N. 1086 *- Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica.*
UNI EN 1990: 2004 - Eurocodice 1 *– Criteri generali di progettazione strutturale.*
UNI ENV 1991-1-1: 2004; -1-2; 1-3; 1.5 ; UNI ENV 1991-2-4: 1997 *- Azioni sulla struttura.*
Eurocodice 2 *- Progettazione delle strutture in calcestruzzo.*
UNI ENV 1992-1-1 Parte 1-1*:Regole generali e regole per gli edifici.*
Eurocodice 3 *– Progettazione delle strutture in acciaio.*
UNI ENV 1993-1-1 - Parte 1-1*:Regole generali e regole per gli edifici.*
UNI EN 206-1/2001 *- Calcestruzzo. Specificazioni, prestazioni, produzione e conformità.*
Servizio Tecnico Centrale del Ministero dei Lavori Pubblici – "Linee Guida sul calcestruzzo strutturale" –
Circ. MIN.LL.PP. N.11951 del 14 febbraio 1992 *- Circolare illustrativa della legge N. 1086.*
D.M. 14 febbraio 1992 *- Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale, precompresso e per le strutture metalliche.*
Circ. MIN.LL.PP. N.37406 del 24 giugno 1993 *– Istruzioni relative alle norme tecniche per l'esecuzione delle opere in c.a. normale e precompresso e per le strutture metalliche di cui al D.M. 14 febbraio 1992.*
D.M. 9 gennaio 1996 *– Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.*
Circ. Min. LL.PP. 15.10.1996 n.252 AA.GG./S.T.C. *- Istruzioni per l'applicazione delle «Norme tecniche per il calcolo e l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche» di cui al D.M. 09.01.1996.*

Inoltre si fa riferimento anche alle seguenti Leggi/Normative Italiane

Classificazione Sismica
Ordinanza n. 3274 del 20 Marzo 2003*. "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"*
Ordinanza n. 3316*. "Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003"*
OPCM 3519/06
Strutture
Legge 5 Novembre 1971 n° 1086 *- Norma per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica;*
Norme CNR 10011/85 *- Costruzioni in acciaio: Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la* manutenzione.
Prefabbricati
D.M. Min. LL.PP. 3 Dicembre 1987 - Norme Tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni prefabbricate;
Norme CNR 10025/98 - Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione e il controllo delle strutture prefabbricate in conglomerato cementizio e per le strutture costruite con sistemi industrializzati.

CLASSIFICAZIONE DELL'INTERVENTO

In riferimento al punto 8.4.3, l'intervento è classificabile come UN INTERVENTO DI ADEGUAMENTO

8.4.3. INTERVENTO DI ADEGUAMENTO

L'intervento di adeguamento della costruzione è obbligatorio quando si intenda:

a) sopraelevare la costruzione;

b) ampliare la costruzione mediante opere ad essa strutturalmente connesse e tali da alterarne significativamente la risposta;

c) apportare variazioni di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali verticali in fondazione superiori al 10%, valutati secondo la combinazione caratteristica di cui alla equazione 2.5.2 del § 2.5.3, includendo i soli carichi gravitazionali. Resta comunque fermo l'obbligo di procedere alla verifica locale delle singole parti e/o elementi della struttura, anche se interessano porzioni limitate della costruzione;

d) effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un sistema strutturale diverso dal precedente; nel caso degli edifici, effettuare interventi strutturali che trasformano il sistema strutturale mediante l'impiego di nuovi elementi verticali portanti su cui grava almeno il 50% dei carichi gravitazionali complessivi riferiti ai singoli piani.

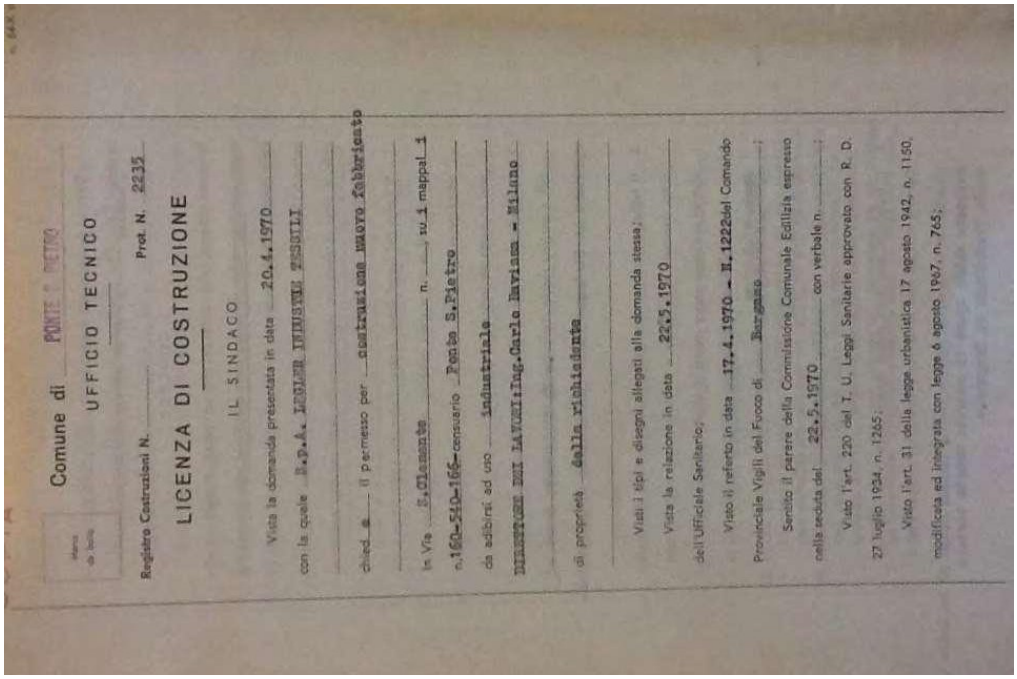
e) apportare modifiche di classe d'uso che conducano a costruzioni di classe III ad uso scolastico o di classe IV.

In ogni caso, il progetto dovrà essere riferito all'intera costruzione e dovrà riportare le verifiche dell'intera struttura post-intervento, secondo le indicazioni del presente capitolo.

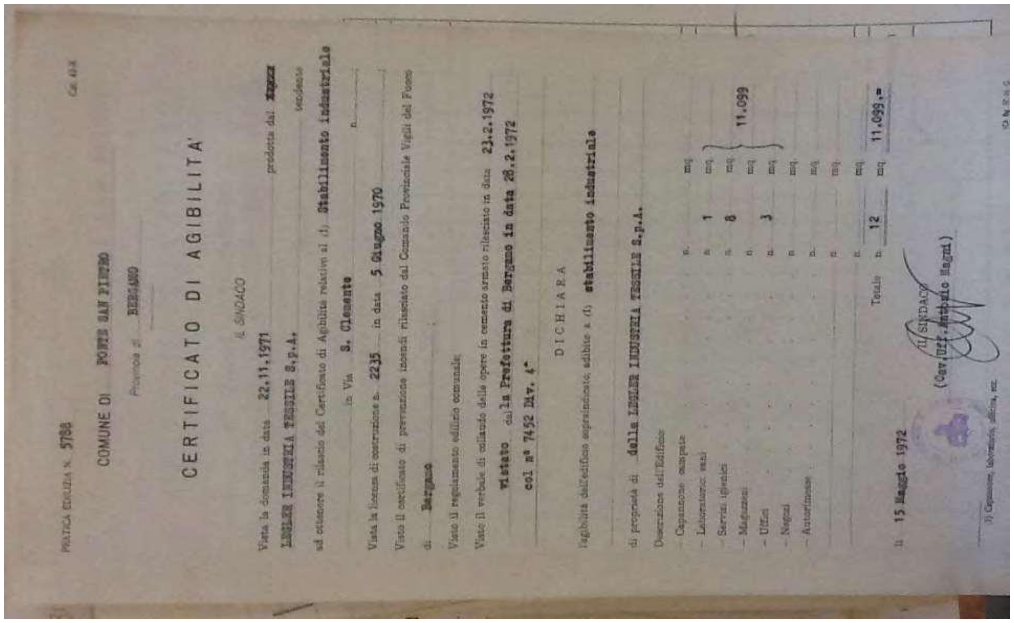
Nei casi a), b) e d), per la verifica della struttura, si deve avere $\zeta_E \geq 1{,}0$. Nei casi c) ed e) si può assumere $\zeta_E \geq 0{,}80$.
Resta comunque fermo l'obbligo di procedere alla verifica locale delle singole parti e/o elementi della struttura, anche se interessano porzioni limitate della costruzione.
Una variazione dell'altezza dell'edificio dovuta alla realizzazione di cordoli sommitali o a variazioni della copertura che non comportino incrementi di superficie abitabile, non è considerato ampliamento, ai sensi della condizione *a)*. In tal caso non è necessario procedere all'adeguamento, salvo che non ricorrano una o più delle condizioni di cui agli altri precedenti punti.

ANALISI STORICO CRITICA

L'edificio in oggetto era di proprietà della LECLER INDUSTRIA TESSILE S.P.A.
Le strutture prefabbricate sono state realizzate tra gli anni 1970-1972, con i seguenti titoli abilitativi:
-Licenza di costruzione prot. 2235 del 5 giugno 1970
-Collaudo delle opere in c.a rilasciato in data 23 febbraio 1972 depositato presso la prefettura di Bergamo.
-Certificato di agibilità n. 5788 del 15 maggio 1972.
Attualmente l'immobile risulta di proprietà della società ARUBA S.P.A.
Si allegano le scansioni di alcuni titoli



Comune di PONTE S. PIETRO
UFFICIO TECNICO
Registro Costruzioni N. Prot. N. 2235
LICENZA DI COSTRUZIONE
IL SINDACO
Vista la domanda presentata in data 20.4.1970
con la quale R.p.A. LECLER INDUSTRI TESSILI
chied. a il permesso per costruzione nuovo fabbricato
in Via S.Clemente n. sv.1 mappal. 1
n.160-510-166-censuario Ponte S.Pietro
da adibirsi ad uso industriale
DIRETTORE DEI LAVORI Ing.Carlo Daviana - Milano
di proprietà della richiedente
Visti i tipi e disegni allegati alla domanda stessa;
Vista la relazione in data 22.5.1970
dell'Ufficiale Sanitario;
Visto il referto in data 17.4.1970 - N.1222del Comando Provinciale Vigili del Fuoco di Bergamo;
Sentito il parere della Commissione Comunale Edilizia espresso nella seduta del 22.5.1970 con verbale n.
Visto l'art. 220 del T. U. Leggi Sanitarie approvato con R. D. 27 luglio 1934, n. 1265;
Visto l'art. 31 della legge urbanistica 17 agosto 1942, n. 1150, modificata ed integrata con legge 6 agosto 1967, n. 765;

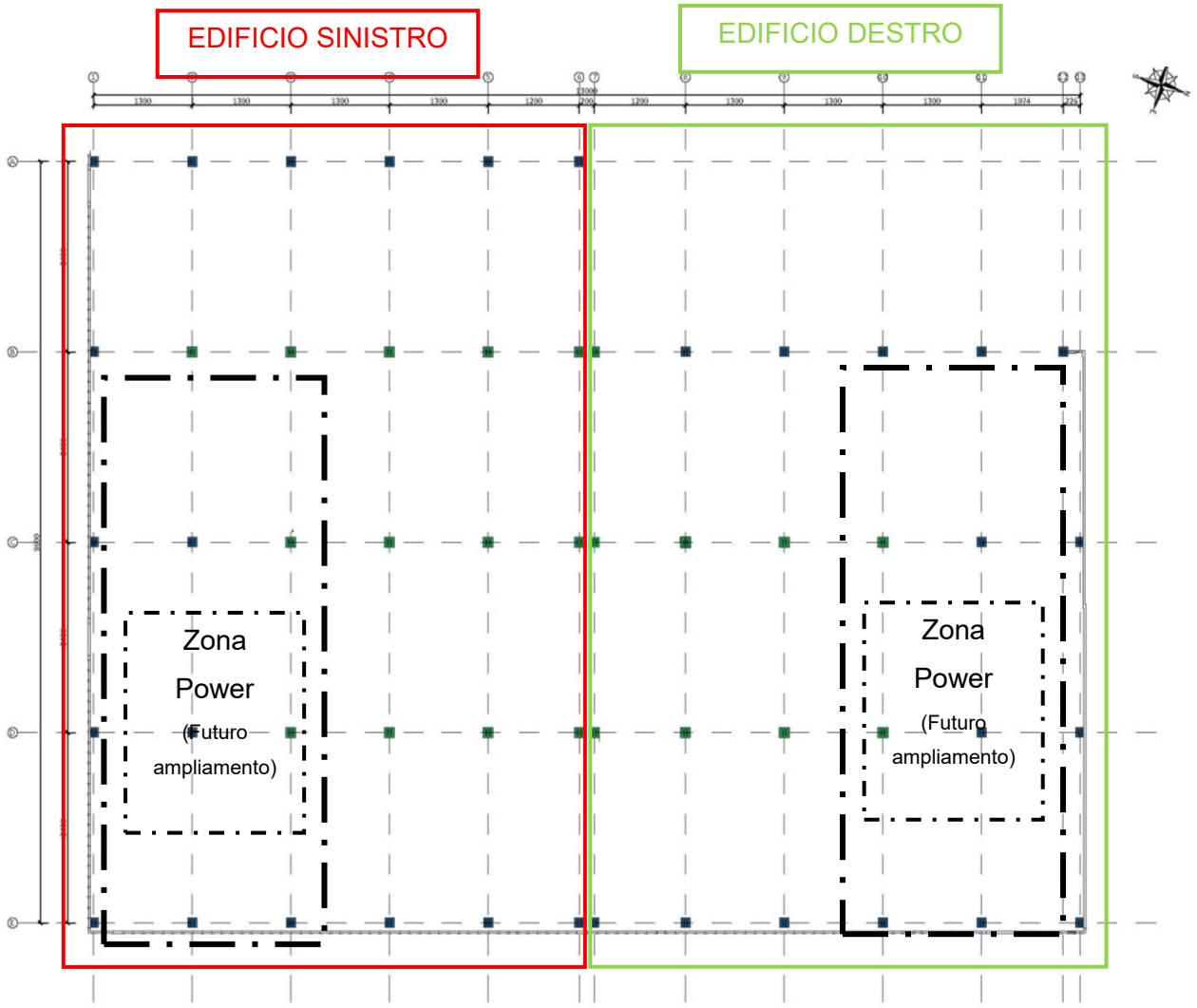


PRATICA EDILIZIA N. 5788
COMUNE DI PONTE SAN PIETRO
Provincia di BERGAMO
CERTIFICATO DI AGIBILITA'
IL SINDACO
Vista la domanda in data 22.11.1971 presentata dal
LECLER INDUSTRIA TESSILE S.p.A. residente
ad ottenere il rilascio del Certificato di Agibilità relativo al (1) Stabilimento industriale
in Via S. Clemente n.
Vista la licenza di costruzione n. 2235 in data 5 Giugno 1970
Visto il certificato di prevenzione incendi rilasciato dal Comando Provinciale Vigili del Fuoco di Bergamo
Visto il regolamento edilizio comunale;
Visto il verbale di collaudo delle opere in cemento armato rilasciato in data 23.2.1972
vistato dalla Prefettura di Bergamo in data 28.2.1972
col n° 7452 Div. 4°
DICHIARA
l'agibilità dell'edificio sopradescritto, adibito a (1) stabilimento industriale
di proprietà di della LECLER INDUSTRIA TESSILE S.p.A.
Descrizione dell'Edificio
- Capannone esagono n. mq
- Laboratorio reali n. 1 mq
- Servizi igienici n. 8 mq 11.099
- Magazzini n. mq
- Uffici n. 3 mq
- Negozi n. mq
- Autorimesse n. mq
n. mq
Totale n. 12 mq 11.099,=
Il 15 Maggio 1972
IL SINDACO
(Cav. Ing. Antonio Magni)
(1) Cancellare la dicitura che non interessa, ecc.

RILIEVO

L'edificio oggetto di adeguamento è a pianta pressoché rettangolare, di dimensioni di circa 130 m x 96 m, ad un piano fuori terra. L'altezza massima dell'edificio è circa 11,40m (quota pavimento finito – estradosso colmo trave doppia pendenza). Le maglie sono di dimensioni 13m x 24m.
Gli elementi esistenti presenti:

- Pilastri a doppio T, di dimensioni massime 60x60
- Trave principale del tipo a cassone in c.a.p.
- Trave a doppia pendenza in c.a.p
- Trave canale a U per la raccolta acque in c.a.p.
- Solaio alveolare h 12cm in c.a.p.



L'edificio presenta un giunto sismico tra il filo 6 e 7. È possibile quindi individuare due corpi di fabbrica, che chiameremo nelle seguenti relazioni edificio sinistro e edificio destro.
Prima di effettuare indagini sui materiali e sui particolari costruttivi della struttura, sono state effettuate alcune ricognizioni visive sull'edificio per poter verificare la geometria del fabbricato, rilevare lo stato dell'immobile e la presenza di eventuali dissesti e cedimenti fondali in atto, nonché individuare i principali comportamenti della struttura e rilevare eventuali criticità.
Dal punto di vista dello stato di conservazione delle strutture, si presentano integri in tutte le loro parti e prive di segni di dissesti.
Nel complesso si rileva pertanto un buon stato di conservazione delle strutture e delle finiture.
Inoltre, sono state eseguite indagini sui materiali e rilievi dettagliati delle geometrie dalla società P&P LMC Srl, si allegano i risultati alla seguente pratica.

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI EDIFICIO ESISTENTE

La struttura portante è del tipo prefabbricata in c.a. caratterizzata da pilastri incastrati alla base.
Per la determinazione delle proprietà dei materiali esistenti è stata condotta una campagna di estese verifiche in situ per quanto riguarda l'aspetto geometrico, i dettagli costruttivi e le proprietà dei materiali (si vada risultati di prova "RAPPORTA DI PROVA-211-2025.pdf" redatta dalla P&P LMS Srl).
Le prove sono state condotte ad aprile 2025.

PIANO DELLE INDAGINI		
ID	**Tipologia di indagine**	**Quantità**
C	Prelievo campione di calcestruzzo mediante carotaggio: – *Prova di compressione in Laboratorio* – *Prova di carbonatazione*	*40*
SRB	Indagini tipo Son.Reb	*103*
DUR	Prove di durezza con durometro su barre di armatura	*76*
BARRA	Prelievo provino di armatura e successiva prova di trazione in Laboratorio	*5*
SC	Rilievo diretto delle armature mediante scasso localizzato	*22*
SC-F	Scavo di fondazione	*3*
GR	Indagini con Georadar	*21*
IP	Indagine su pannelli perimetrali	*2*

Nel lavoro in oggetto si utilizzano i seguenti valori dei materiali:

CALCESTRUZZO TRAVE DOPPIA PENDENZA

Il calcestruzzo utilizzato dalle prove ottenute in situ è del tipo ***fck= 36,42 N/mm²***

Nelle verifiche degli elementi a favore di sicurezza è stato utilizzato un calcestruzzo del tipo

Rck= 400 → fck= 0.83*Rck = 33,20 N/mm²

CALCESTRUZZO TRAVE CASSONE

Il calcestruzzo utilizzato dalle prove ottenute in situ è del tipo ***fck= 55,10 N/mm²***

Nelle verifiche degli elementi a favore di sicurezza è stato utilizzato un calcestruzzo del tipo

Rck= 500 → fck=0.83*Rck= 41.50 N/mm²

ACCIAIO PER C.A.

L'acciaio è del tipo **FeB32k** con i seguenti valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento e rottura:

fyk = 315 N/mm²

ftk = 490 N/mm²

ACCIAIO PER ARMATURE DA PRECOMPRESSIONE

Per le armature di precompressione si utilizzano trefoli e trecce in acciaio armonico stabilizzato, controllato in stabilimento, avente le seguenti caratteristiche:

Modulo elastico E_s = 200000 N/mmq

Tensione caratteristica di rottura f_{ptk} = 1789 N/mmq

Tensione caratteristica all'1% di deformazione totale$f_{p(1)k}$ = 1670 N/mmq

Allungamento sotto carico massimoA_{gf} ≥ 3.5%

I trefoli da 5/16", 3/8", 1/2", 0.6" hanno rispettivamente:

- denominazione		5/16"	3/8"	1/2"	0.6"
- diametro nominale	=	0.79	0.95	1.25	1.52 cm
- area sezione nominale	=	0.39	0.52	0.93	1.39 cmq

Le trecce 3 x 3 hanno un'area nominale di 0.21 cmq

LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA

Ai fini della scelta del tipo di analisi e dei valori dei fattori di confidenza si distinguono i tre livelli di conoscenza seguenti:

LC1: Conoscenza Limitata

LC2: Conoscenza Adeguata

LC3: Conoscenza Accurata

Gli aspetti che definiscono i livelli di conoscenza sono:

- Dettagli costruttivi;
- Geometria della struttura;
- Proprietà dei materiali.

Il livello di conoscenza acquisito determina il metodo di analisi e i fattori di confidenza da applicare alle proprietà dei materiali.

Il livello di conoscenza considerato è *LC3: Conoscenza Accurata*.

Il fattore di confidenza utilizzato è pari a FC=1.00.

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI DI PROGETTO

CALCESTRUZZO PER MAGRONE

- Classe di resistenza a compressione: **C12/15**

CALCESTRUZZO PER OPERE DI FONDAZIONE

- Classe di resistenza a compressione: **C25/30**
- Dimensione massima aggregato: **Dmax = 12.5 / 16 mm**
- Classe di esposizione: **XC2**
- Classe di consistenza: **S4**

Caratteristiche meccaniche:

Resistenza caratteristica a compressione cubica R_{ck} = 30 N/mmq

Resistenza caratteristica a compressione cilindrica f_{ck} = 25 N/mmq

Resistenza media a compressione cilindrica f_{cm} = 32.9 N/mmq

Resistenza media a trazione semplice f_{ctm} = 2.06 N/mmq

Resistenza caratteristica a trazione f_{ctk} = 1.79 N/mmq

Modulo elastico E_{cm} = 31447 N/mmq

Coefficiente di Poisson v = 0.12

CALCESTRUZZO PER RINFORZO PILASTRI

- Classe di resistenza a compressione: **C30/37**
- Dimensione massima aggregato: **Dmax = 12.5 / 16 mm**
- Classe di esposizione: **XC3**
- Classe di consistenza: **S4**

Caratteristiche meccaniche:

Resistenza caratteristica a compressione cubica R_{ck} = 37 N/mmq

Resistenza caratteristica a compressione cilindrica f_{ck} = 30 N/mmq

Resistenza media a compressione cilindrica f_{cm} = 38 N/mmq

Resistenza media a trazione semplice f_{ctm} = 2.95 N/mmq

Resistenza caratteristica a trazione f_{ctk} = 2.06 N/mmq

Resistenza media a trazione per flessione f_{cfm} = 3.53 N/mmq

Modulo elastico E_{cm} = 32837 N/mmq

Coefficiente di Poisson v = 0.12

CALCESTRUZZO PER TRAVI PREFABBRICATE PRECOMPRESSE

- Classe di resistenza a compressione: **C45/55**
- Dimensione massima aggregato: **Dmax = 12.5 / 16 mm**
- Classe di esposizione: **XC2**
- Classe di consistenza: **S4**

Caratteristiche meccaniche:

Resistenza caratteristica a compressione cubica R_{ck} = 55 N/mmq

Resistenza caratteristica a compressione cilindrica f_{ck} = 45 N/mmq

Resistenza media a compressione cilindrica f_{cm} = 53 N/mmq

Resistenza media a trazione semplice f_{ctm} = 3.8 N/mmq

Resistenza caratteristica a trazione f_{ctk} = 2.6 N/mmq

Resistenza media a trazione per flessione f_{cfm} = 4.6 N/mmq

Modulo elastico E_{cm} = 36400 N/mmq

Coefficiente di Poisson v = 0.12

ACCIAIO PER ARMATURE DA PRECOMPRESSIONE

Per le armature di precompressione si utilizzano trefoli e trecce in acciaio armonico stabilizzato, controllato in stabilimento, avente le seguenti caratteristiche:

Modulo elasticoE$_s$ = 200000 N/mmq

Tensione caratteristica di rottura f_{ptk} = 1860 N/mmq

Tensione caratteristica all'1% di deformazione totale$f_{p(1)k}$ = 1670 N/mmq

Allungamento sotto carico massimoA_{gf} ≥ 3.5%

I trefoli da 5/16", 3/8", 1/2", 0.6" hanno rispettivamente:

- denominazione		5/16"	3/8"	1/2"	0.6"
- diametro nominale	=	0.79	0.95	1.25	1.52 cm
- area sezione nominale	=	0.39	0.52	0.93	1.39 cmq

Le trecce 3 x 3 hanno un'area nominale di 0.21 cmq

ACCIAIO PER ARMATURE LENTE E RETI ELETTROSALDATE

Per le armature lente si utilizza acciaio ad aderenza migliorata ad alto limite elastico di tipo B450C controllato in stabilimento, saldabile, con le seguenti caratteristiche:

Denominazione **B450C**

Modulo elastico E_s = 210000 N/mmq

Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk} \geq 450$ N/mmq

Tensione caratteristica di rottura $f_{tk} \geq 540$ N/mmq

Allungamento $(A_{gt})_k \geq 7.5\%$

Ulteriori condizioni sulle tensioni caratteristiche $1.5 \leq \left(\frac{f_t}{f_y}\right)_k \leq 1.35$

$$\left(\frac{f_y}{450}\right)_k \leq 1.25$$

ACCIAIO DA CARPENTERIA

Denominazione **S275**

Modulo elastico E_s = 210000 N/mmq

Coefficiente di Poissonv = 0.30

Densità ρ = 7850 kg/mc

Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk} \geq 275$ N/mmq (sp ≤ 40mm)

Tensione caratteristica di rottura $f_{tk} \geq 430$ N/mmq (sp ≤ 40mm)

BULLONERIA

Vengono utilizzati bulloni di ***classe 8.8***, di cui sono riportate le caratteristiche meccaniche (secondo CNR-UNI 10011):

- Tensione di rottura a trazione : ft > 800 N/mm^2
- Tensione di snervamento : fy > 640 N/mm^2
- Resistenza caratteristica a trazione : $f_{k,N}$ > 560 N/mm^2
- Resistenza di progetto a trazione : $f_{d,N}$ > 560 N/mm^2
- Resistenza di progetto a taglio : $f_{d,V}$ > 396 N/mm^2

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

1

ANALISI DEI CARICHI

i. NEVE

Il **carico della neve** sulla copertura cosi come definito delle NTC'18 è valutato come da normativa con la seguente formula:

$$q_s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot q_{sk}$$

Il coefficiente di esposizione C_e e il coefficiente termico C_t hanno valore unitario.
Il carico neve al suolo q_{sk} dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, considerata la variabilità delle precipitazioni nevose da zona a zona.

Zona I – Alpina – Quota sul livello del mare (as): =250 m slm:

q_{sk} = 1.50 kN/m^2 as ≤ 200m s.l.m.
q_{sk} = 1.39 [1+(as/728)^2] kN/m^2 as ≥ 200m s.l.m.

Nota la quota dell'edificio oggetto di studio si ottiene:

q_{sk} = 1.55 kN/m^2

Il coefficiente di forma μi per una copertura a più falde ed inclinazione di 0°≤α≤30° è pari in assenza di vento a 0.8 quindi il carico neve vale:

q_s = 1.55 · 0.8 = 124 kg/m^2 ≈ 125 kg/m^2

si considera nel calcolo un valore del carico neve pari a 125 kg/m^2.

ii. VENTO

La **pressione del vento** q_v si calcola con la seguente formula di cui sono già noti tutti i parametri:

$$q_v = q_b \cdot C_e \cdot C_d \cdot C_p$$

Per prima cosa si determina la velocità di riferimento V_b in funzione della zona in cui si trova la costruzione e dell'altitudine sul livello del mare in m del sito dove sorge la costruzione con la seguenti formule:

$V_b = V_{b,0} = 25$ m/sa$_s \leq a_0 = 1000$ m s.l.m. (Umbria)

Si determina successivamente la pressione cinetica di riferimento pari a:

$q_b = 0.422$ kN/m^2 = 42.22 kg/m^2

I coefficienti variano a seconda della struttura considerata, in particolare i coefficienti aereodinamici; si riporta di seguito il calcolo della pressione massima del vento sulle pareti verticali della struttura.

Il coefficiente di esposizione C_e dipende dell'altezza sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno, e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. Il coefficiente di esposizione considerando l'altezza massima del capannone vale:
$C_e = 1.908$

Il coefficiente dinamico C_d si assume cautelativamente unitario:
$C_d = 1.00$

Il coefficiente di forma C_p per edifici con falde aventi inclinazione compresa tra 0° e 20° assume il seguente valore:
$C_p = 1.00$

La pressione del vento q_v vale:

	p [kN/m²]	c_d	c_t	c_e	c_p	P [kN/m²]
(1) par. sopravent.	0,422	1,00	1,00	1,908	1,00	0,81
(2) cop. sopravent	0,422	1,00	1,00	1,908	-0,20	-0,16
(3) cop. Sottovent.	0,422	1,00	1,00	1,908	-0,20	-0,16
(4) par. sottovent.	0,422	1,00	1,00	1,908	-0,20	-0,16

iii. RIEPILOGO CARICHI APPLICATI ALLA STRUTTURA

La valutazione dei carichi e dei sovraccarichi è stata effettuata in accordo con le disposizioni del punto 3.1 del **D.M. 2018**. In particolare, è stato fatto utile riferimento alle Tabelle 3.1.I e 3.1.II del D.M. 2018, per i pesi propri dei materiali e per la quantificazione e classificazione dei sovraccarichi, rispettivamente.

ANALISI CARICHI

SOLAIO COPERTURA – ZONA DOPPIA PENDENZA/CAPRIATE IN ACCIAIO

PESO PROPRIO SOLAIO ALVEOLARE SP. 12CM	**200 kg/m²**
CARICHI PERMANENTI PORTATI -FOTOVOLTAICO -PROFILO OMEGA -RIVERCLARCK -ISOLANTE -CONTROSOFFITTO -CARICHI APPESI **TOTALE**	 25 kg/m² 10 kg/m² 15 kg/m² 20 kg/m² 40 kg/m² 250 kg/m² **360 kg/m²**
Carichi accidentali (categoria NEVE) **Ψ_0=0.50- Ψ_1=0.20- Ψ_2=0.00**	**125 kg/m²**
Carichi accidentali (categoria CAT. H) **Ψ_0=0.00- Ψ_1=0.00- Ψ_2=0.00**	**50 kg/m²**

PESI PROPRI DELLE STRUTTURE:

- Elementi in c.a.: 2500 kg/m³.
- Elementi in acciaio: 7850 kg/m³

COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini delle verifiche ai vari stati limite richieste dalla norma di riferimento NTC2018 si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

Combinazione fondamentale per SLU

$$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{P} P + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \sum_{i>1} \gamma_{Qi} \psi_{0i} Q_{ki}$$

Combinazione SLE – CARATTERISTICA O RARA

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \sum_{i>1} \psi_{0i} Q_{ki}$$

Combinazione SLE - FREQUENTE

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} Q_{k1} + \sum_{i>1} \psi_{2i} Q_{ki}$$

Combinazione SLE – QUASI PERMANENTE

$$G_1 + G_2 + P + \sum_{i} \psi_{2i} Q_{ki}$$

Combinazione SISMICA per SLU e SLE connessi all'azione sismica

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_{i} \psi_{2i} Q_{ki}$$

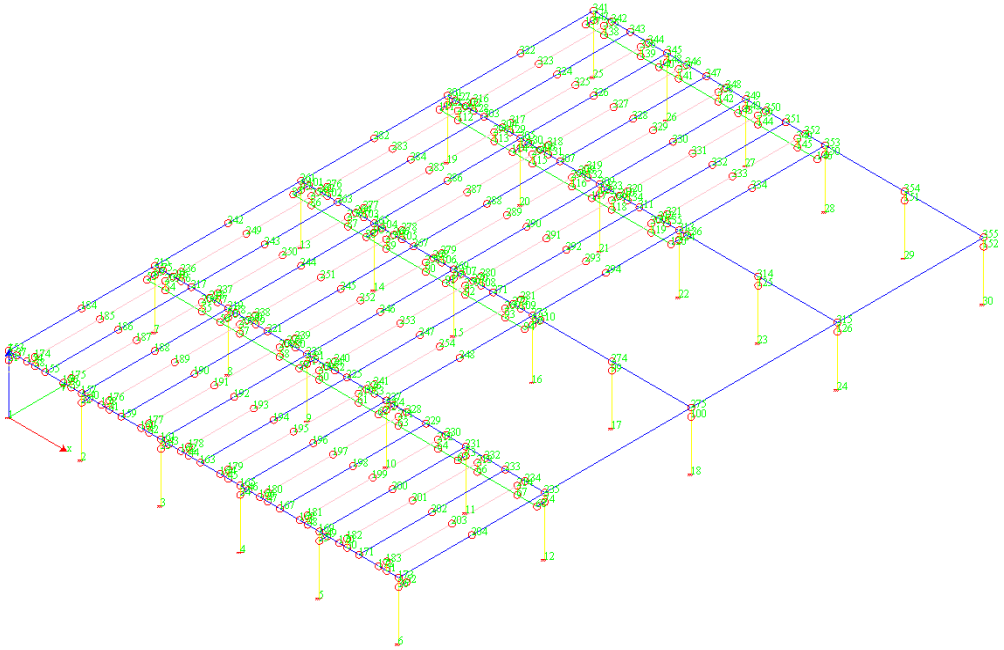
I coefficienti parziali delle azioni γ_{G1} γ_{G2} γ_{Qi} sono definiti al punto 2.6.1 NTC2018.

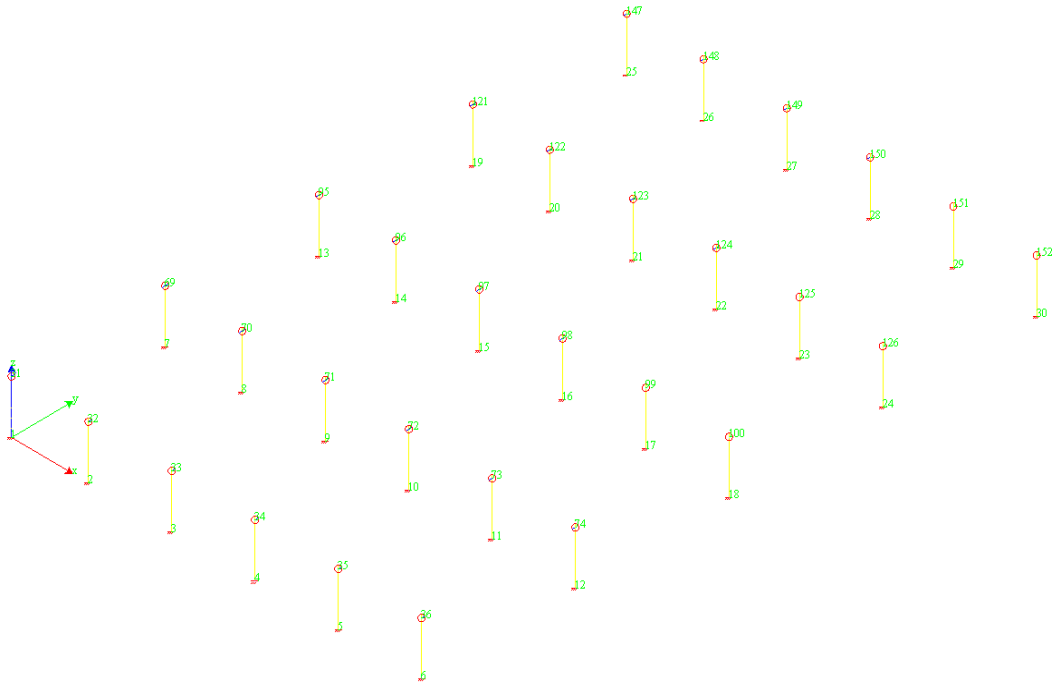
SCHEMA DI CALCOLO ADOTTATO E RIASSUNTO DI CALCOLO

Il modello adottato è relativo ad un sistema a telaio prefabbricato con strutture con collegamenti a cerniera tra travi e pilastri che danno continuità di forze. A questa categoria di telai si applicano le regole relative ai collegamenti tipo a di cui al § 7.4.5.2.1 delle NTC18, mentre i vincoli alla base dei pilastri devono realizzare un incastro totale con la fondazione dimensionato con le regole relative ai collegamenti di tipo b di cui al § 7.4.5.2.1 delle NTC18.
I collegamenti sono opportunamente dimensionati per la trasmissione delle azioni.

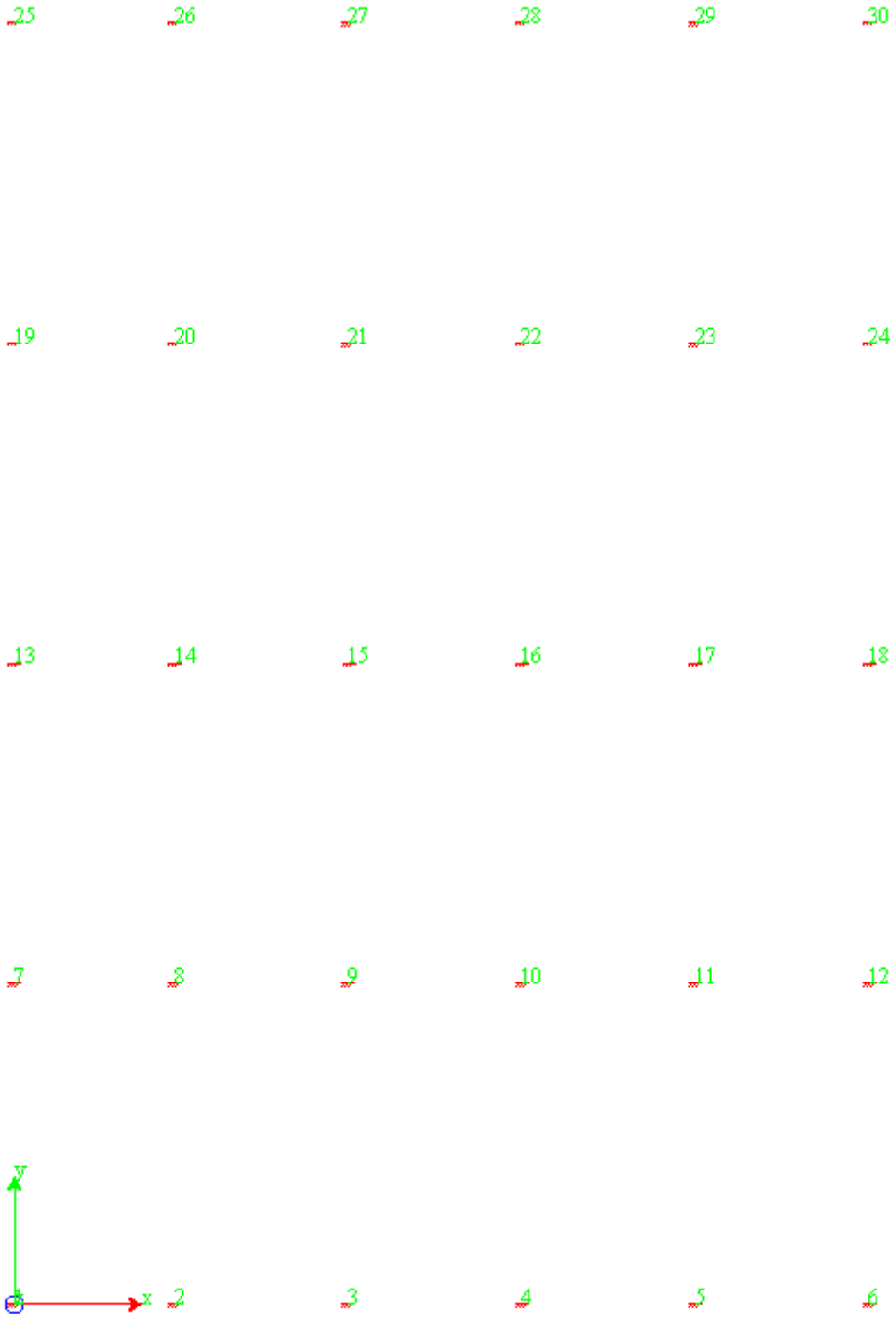
MODELLO DI CALCOLO

EDIFICIO SINISTRO



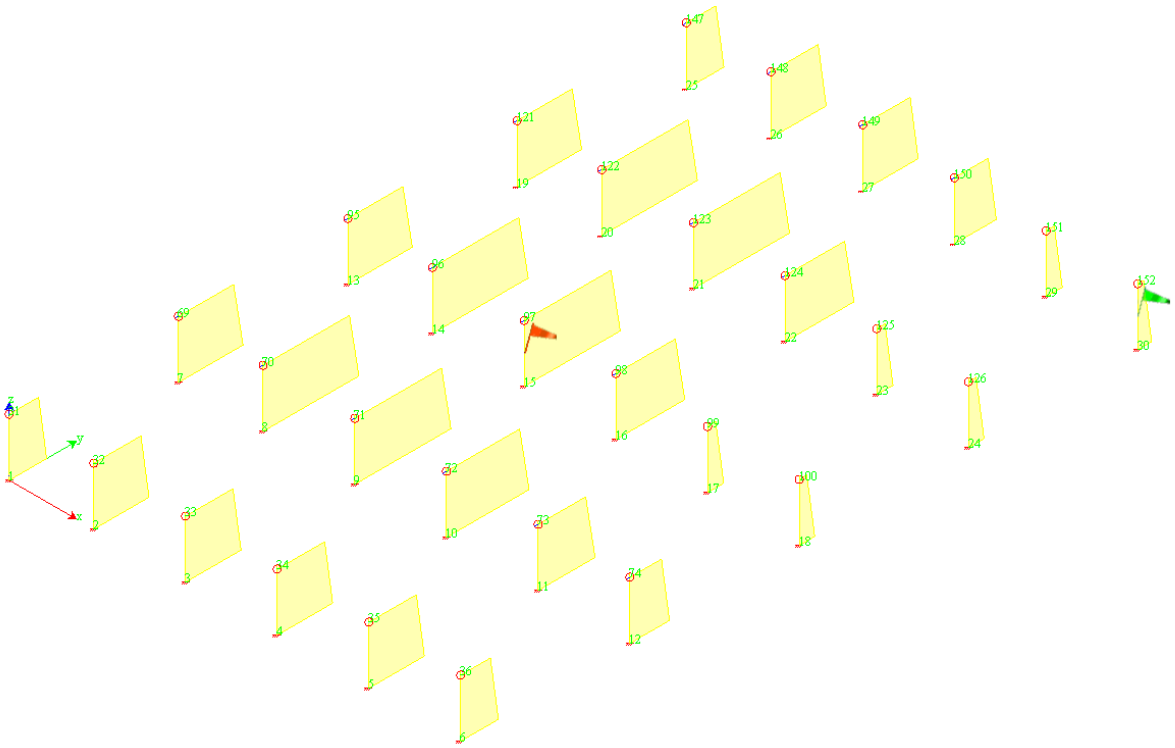

147
25
148
26
121
19
149
27
122
20
150
28
85
13
123
21
151
29
86
14
124
22
152
30
69
7
87
15
125
23
70
8
88
16
126
24
71
9
89
17
100
18
72
10
73
11
74
12
81
1
82
2
83
3
84
4
85
5
86
6
z
y
x

NUMERAZIONE PILASTRI – EDIFICIO SINISTRO



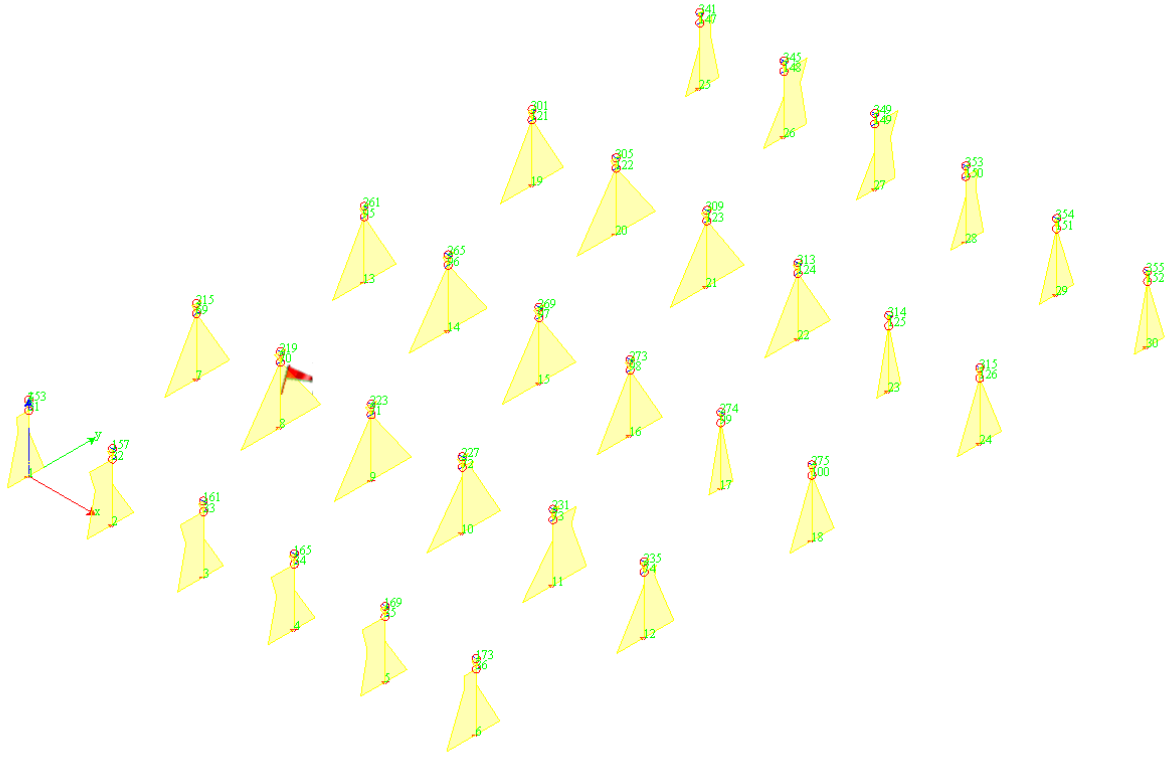
Modello – sforzi normali (comb. Nmax SLU)

EDIFICIO SINISTRO



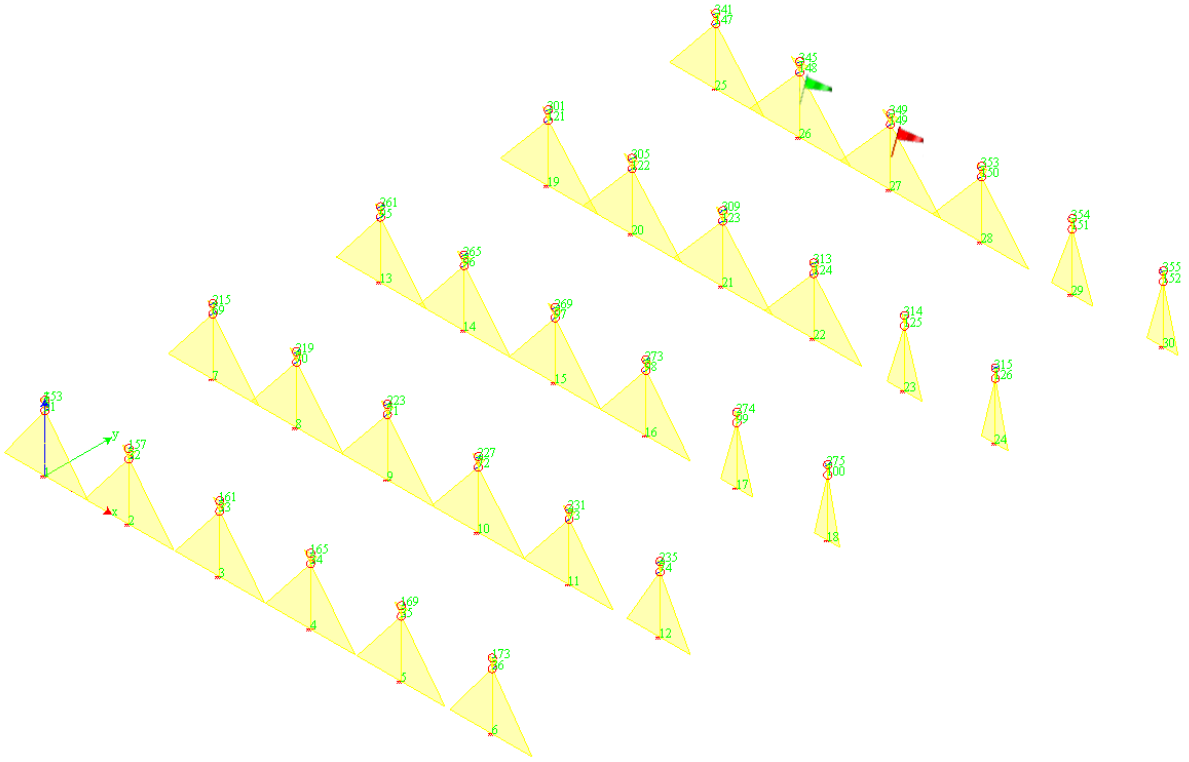
Modello – diagramma M_{1-2} delle sollecitazioni

EDIFICIO SINISTRO



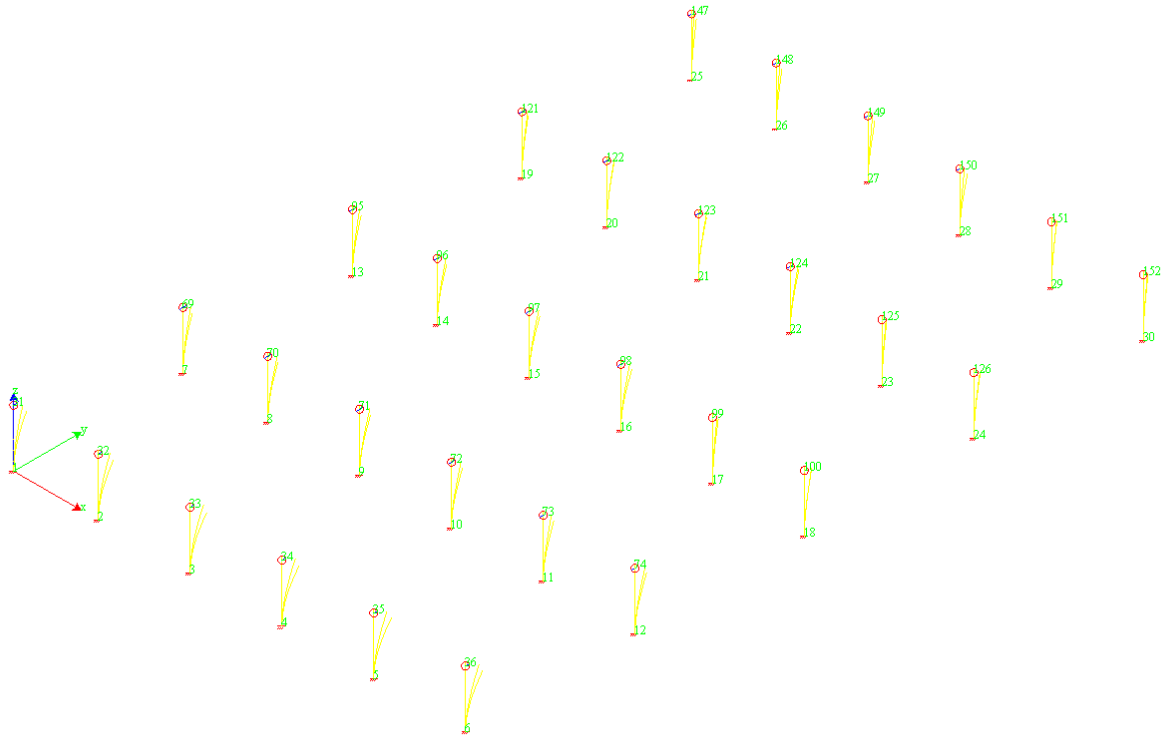
Modello – diagramma M_{1-3} delle sollecitazioni

EDIFICIO SINISTRO

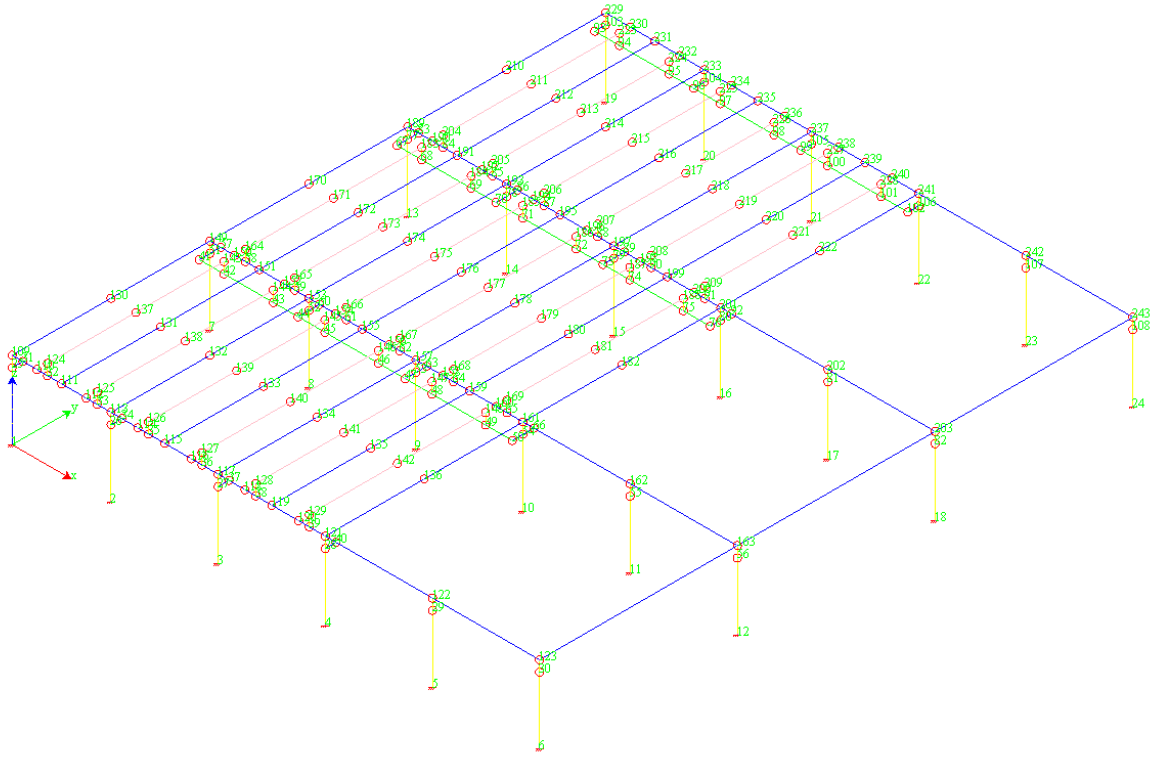


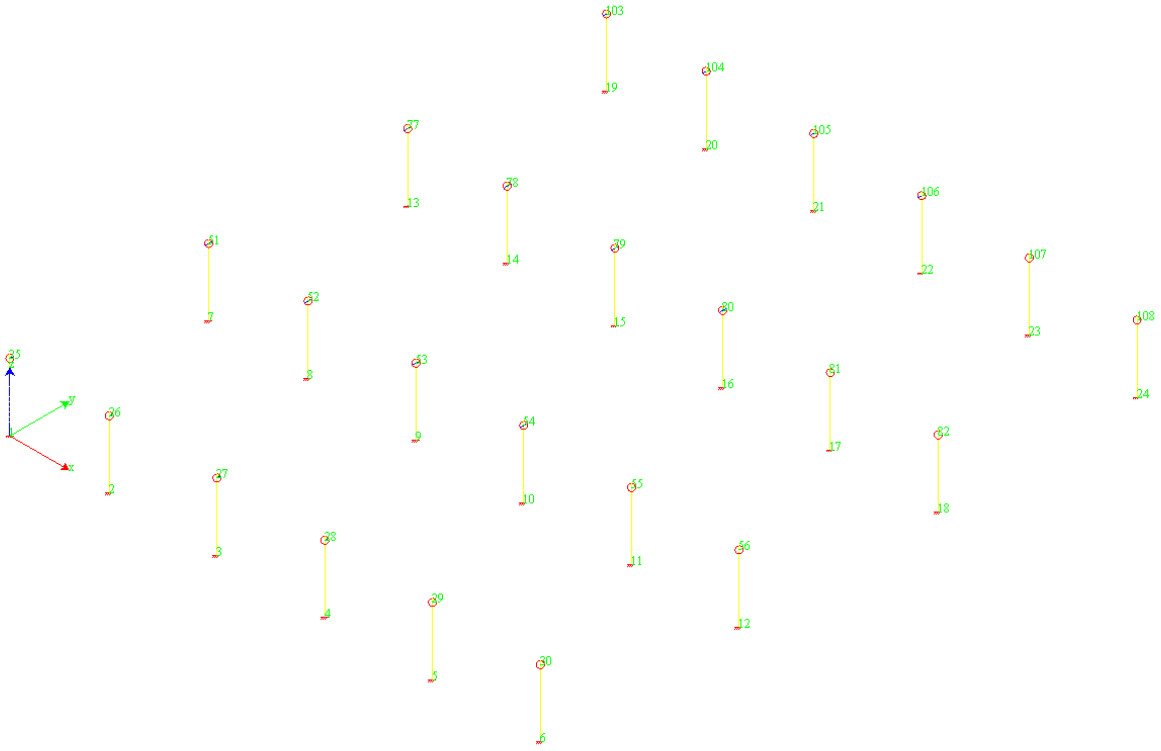
Modello Edificio – deformate

EDIFICIO SINISTRO

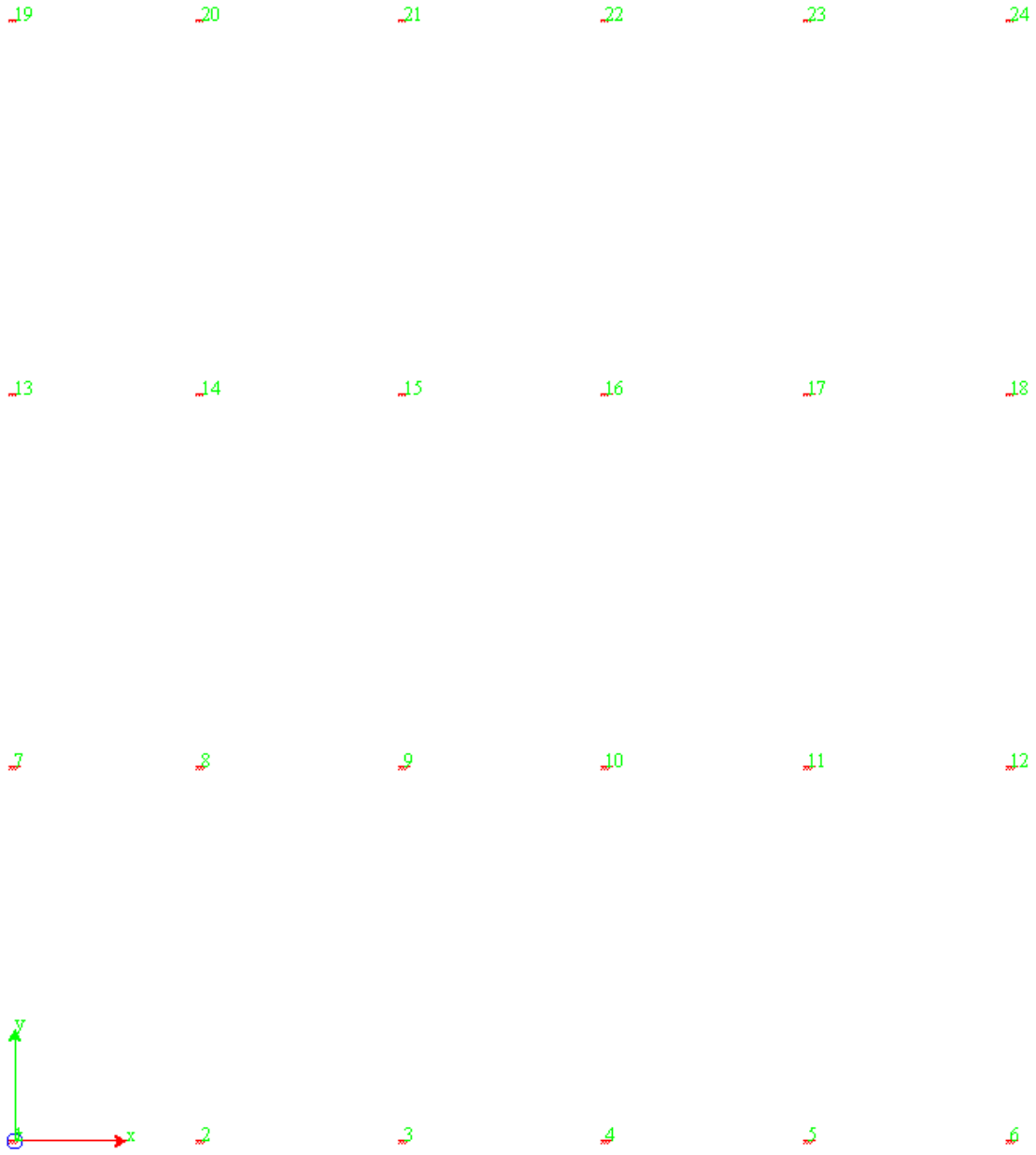


EDIFICIO DESTRO



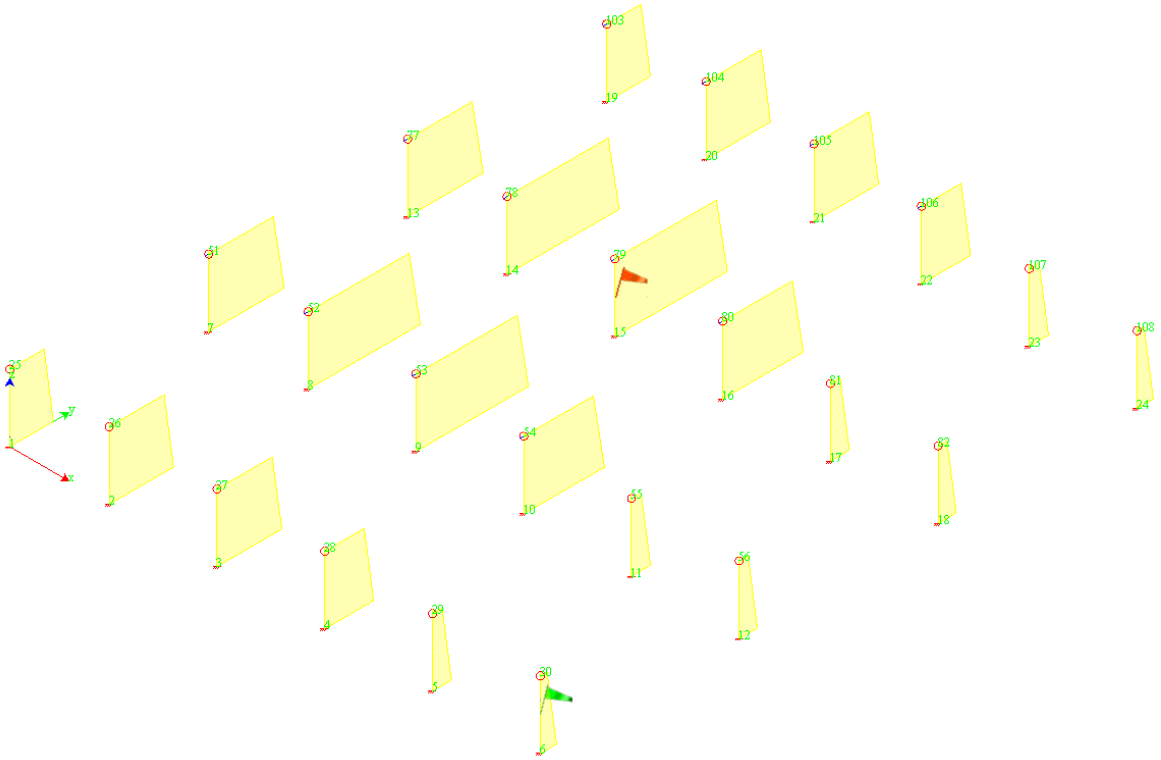


NUMERAZIONE PILASTRI – EDIFICIO DESTRO



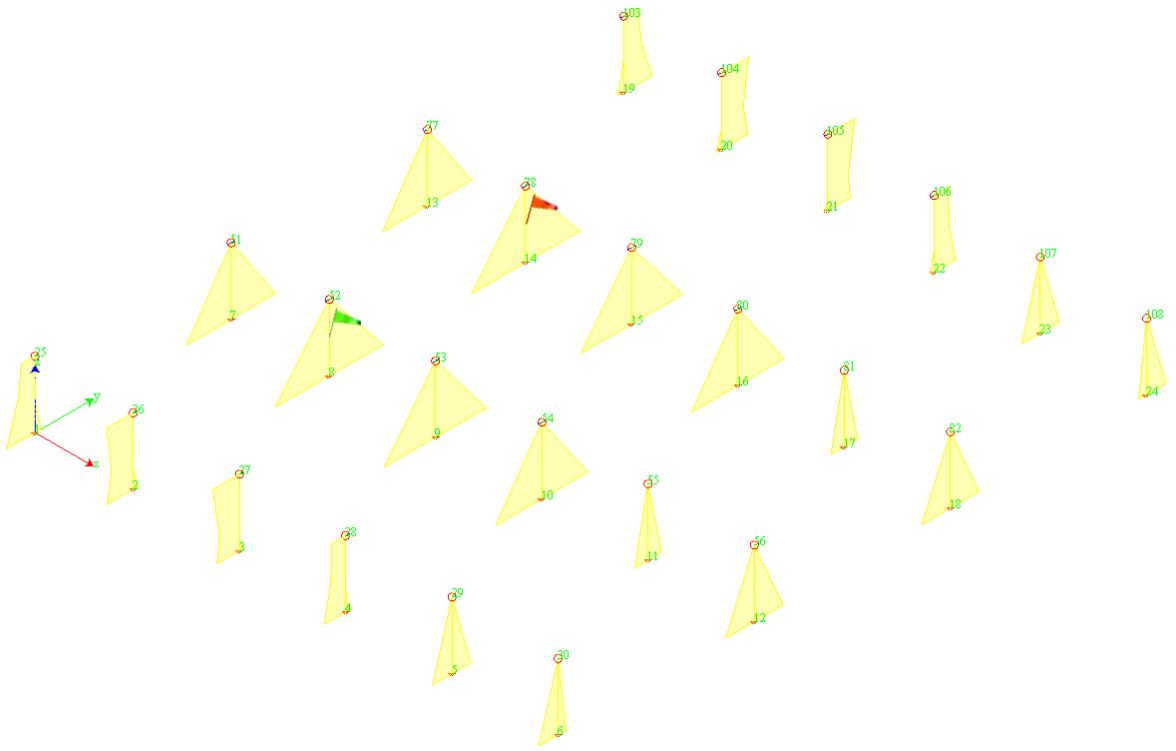
Modello – sforzi normali (comb. Nmax SLU)

EDIFICIO DESTRO



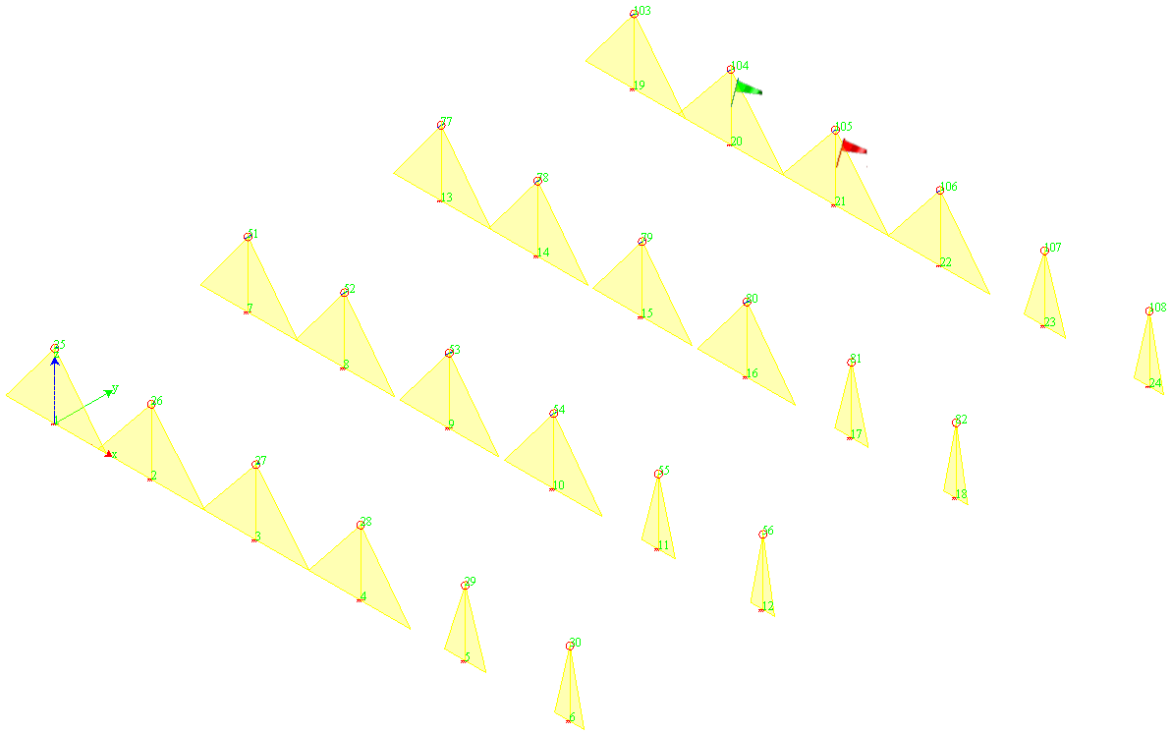
Modello – diagramma M_{1-2} delle sollecitazioni

EDIFICIO DESTRO



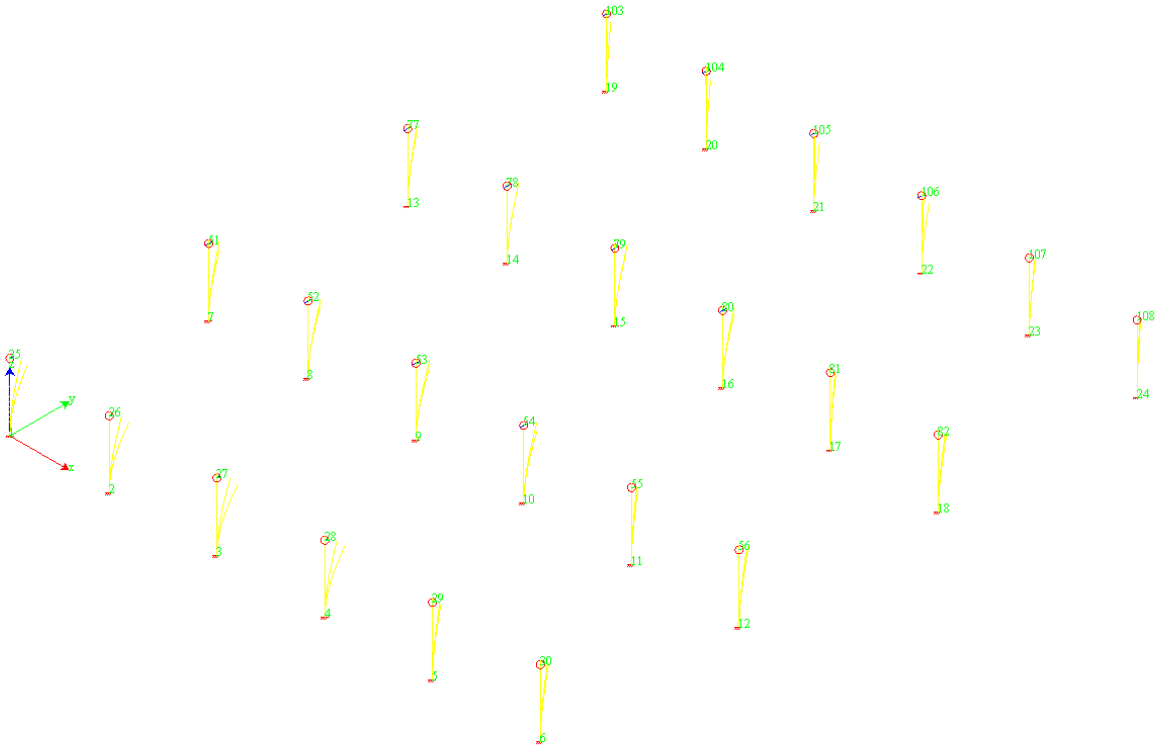
Modello – diagramma M_{1-3} delle sollecitazioni

EDIFICIO DESTRO



Modello Edificio – deformate

EDIFICIO DESTRO



RISULTATI DEL CALCOLO

Tutti gli elementi soddisfano le Verifiche di Resistenza e di Stabilità con riferimento agli Stati Limite Ultimi in condizioni statiche agli SLU ed in presenza dell'azione sismica allo SLV, e le Verifiche di Deformabilità con riferimento agli Stati Limite di Esercizio in condizioni statiche ed in presenza dell'azione sismica allo SLD. Tutte le verifiche risultano soddisfatte con tassi di sfruttamento inferiori all'unità.

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI DELLA STRUTTURA

Principi fondamentali

La sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Stato limite è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata.
In particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:
- *sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU)*: capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;
- *sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE):* capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- *robustezza nei confronti di azioni eccezionali:* capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

Il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile e si definisce collasso.
Il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere reversibile o irreversibile.
La durabilità, definita come conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture, proprietà essenziale affinché i livelli di sicurezza vengano mantenuti durante tutta la vita dell'opera, deve essere garantita attraverso una opportuna scelta dei materiali e un opportuno dimensionamento delle strutture, comprese le eventuali misure di protezione e manutenzione. I prodotti ed i componenti utilizzati per le opere strutturali devono essere chiaramente identificati in termini di caratteristiche meccanico- fisico-chimiche indispensabili alla valutazione della sicurezza e dotati di idonea qualificazione
I materiali ed i prodotti, per poter essere utilizzati, devono essere sottoposti a procedure e prove sperimentali di accettazione.

Criteri di verifica

Le fasi di progetto, analisi, calcolo e verifica sono state svolte dal progettista seguendo i dettami della scienza e tecnica delle costruzioni, eseguendo le attività di progetto a "regola d'arte" e nel rispetto della normativa vigente.
Al fine di garantire la sicurezza della costruzione è stato utilizzato, rispettando le prescrizioni previste dalle normative in precedenza elencate, il metodo agli stati limite per verificare gli elementi strutturali e le sezioni sollecitate dalle azioni di modello. Nella fattispecie si è considerato:
STATO LIMITE ULTIMO: lo stato per cui si perviene a collasso strutturale, crolli, perdita di equilibrio e dissesti gravi, causati da deformazioni eccessive, dal raggiungimento della massima capacità di resistenza per parti della struttura o nel suo insieme, dalla rottura per instabilità degli elementi.
STATO LIMITE DI ESERCIZIO: lo stato per cui si giunge alla perdita di una particolare funzionalità, condizionando la prestazione dell'opera a causa di danneggiamenti locali, eccessive deformazioni che limitino l'efficienza della costruzione, di impianti o elementi non strutturali.

Valutazione della sicurezza

Per la valutazione della sicurezza delle costruzioni si devono adottare criteri probabilistici scientificamente comprovati. Nel metodo semiprobabilistico agli stati limite, la sicurezza strutturale deve essere verificata tramite il confronto tra la resistenza e l'effetto delle azioni. Per la sicurezza strutturale, la resistenza dei materiali e le azioni sono rappresentate dai valori caratteristici, R_{ki} e F_{kj} definiti, rispettivamente, come il frattile inferiore delle resistenze e il frattile (superiore o inferiore) delle azioni che minimizzano la sicurezza.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi di resistenza si effettua con il "metodo dei coefficienti parziali" di sicurezza espresso dalla equazione formale:

$R_d \geq E_d$

R_d è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate;

E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di progetto $F_{dj} = F_{kj} \cdot \gamma_{Fj}$ delle azioni o direttamente $E_{dj} = E_{kj}\gamma_{Ej}$.

I coefficienti parziali di sicurezza, γ_{Mi} e γ_{Fj} , associati rispettivamente al materiale i-esimo e all'azione j-esima, tengono in conto la variabilità delle rispettive grandezze e le incertezze relative alle tolleranze geometriche e alla affidabilità del modello di calcolo.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite di esercizio si esprime controllando aspetti di funzionalità e stato tensionale.